

Bartosz Kaźmierczak, Andrzej Kotowski, Marcin Wdowikowski

Analiza tendencji rocznych i sezonowych zmian wysokości opadów atmosferycznych w dorzeczu Górnej Odry

Według raportu Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (IPCC), w latach 1960–2005 nastąpił wzrost średniej rocznej temperatury powietrza na globie ziemskim o $0,74^{\circ}\text{C}$ [1], co oznacza przyrost temperatury około $0,16^{\circ}\text{C}$ w ciągu dekady. Na podstawie historycznych danych temperaturowych pochodzących z siedmiu stacji meteorologicznych IMGW, położonych na wybrzeżu Bałtyku (Gdańsk – od 1807 r., Szczecin – od 1836 r., Koszalin – od 1848 r., Hel – od 1851 r., Świnoujście – od 1876 r., Gdynia – od 1923 r. oraz Rozewie – od 1923 r.), stwierdzono, że w latach 1836–1990 nastąpił wzrost temperatury powietrza o $1,09^{\circ}\text{C}$, czyli średnio około $0,07^{\circ}\text{C}$ w ciągu dekady [2]. Biorąc za podstawę tendencje obserwowane w latach 1951–2009 prognozuje się istotne zmiany wysokości i intensywności opadów atmosferycznych w Polsce do 2100 r. [3].

Według prognoz opartych na globalnym modelu zmian klimatu [1], w bieżącym stuleciu temperatura globu ziemskiego może się podnieść o $1,7\text{--}4,4^{\circ}\text{C}$, przy czym na wzrost temperatury o jeden stopień przewiduje się zwiększenie intensywności opadów atmosferycznych o około 7% [4]. Zmiany klimatyczne wpływają bezpośrednio na wysokość i rozkład opadów atmosferycznych, zarówno w skali globalnej i regionalnej, jak i lokalnej [5–9]. Stąd też w przyszłości może wystąpić jeszcze więcej ekstremalnych opadów atmosferycznych powodujących szkody na obszarach zurbanizowanych wskutek przeciążenia hydraulicznego systemów kanalizacyjnych (nadpiętrzenia, wylewy z kanałów), podtopienia terenów czy tzw. powodzi miejskich [10–13]. Szacuje się, że w XX wieku nastąpił wzrost średniej rocznej wysokości opadów atmosferycznych w skali globalnej (bez Antarktydy) o około 9 mm (tj. $0,89\text{ mm}$ w ciągu dekady) [14]. Przykładowo, w ciągu ostatniego stulecia średnia wysokość rocznych opadów atmosferycznych w Norwegii wzrosła o około 15% [15], natomiast w Niemczech o około 10% [16]. Jednak nie wszędzie występują wzrostowe tendencje rocznej wysokości opadów. Badania przeprowadzone w środkowej i wschodniej części Niemiec, na podstawie danych pomiarowych z 200 stacji meteorologicznych z lat 1951–2006, wykazały zarówno istotne statystycznie tendencje rosnące (np. Jena), jak i malejące (np. Görlitz). Spadek rocznej

wysokości opadów atmosferycznych jest szczególnie widoczny na nizinnych obszarach rolniczych Niemiec [16]. Podobne badania przeprowadzono we Włoszech – analizując 164-letnie obserwacje meteorologiczne pochodzące z 32 stacji pomiarowych, zlokalizowanych na obszarze całego kraju, uzyskano istotne statystycznie tendencje rosnące i malejące, w zależności od lokalizacji stacji [17]. W pracy [18] wykazano natomiast przewagę tendencji malejącej w południowych Włoszech, na obszarze około 25 tys. km^2 . Badania przeprowadzone w Grecji [19] nie wykazały istotnych statystycznie tendencji zmian wysokości opadów, podobnie jak badania wykonane na wschodzie Hiszpanii [20], czy też na południu Francji [21]. Szczegółowa analiza danych z lat 1961–1990, pochodzących z 97 stacji w regionie Walencji, wykazała natomiast zarówno rosnące jak i malejące tendencje zmian wysokości opadów atmosferycznych, przy czym te drugie stanowiły większość [22]. Przeciwną sytuację zaobserwowano natomiast na Islandii, gdzie na podstawie danych meteorologicznych z lat 1961–2000 stwierdzono istotną statystycznie tendencję rosnącą rocznej wysokości deszczów [23].

W Polsce analizowano tendencje zmian rocznej wysokości opadów atmosferycznych na podstawie danych z lat 1951–2009 z 28 stacji meteorologicznych IMGW zlokalizowanych na obszarze całego kraju [3]. Wykazano istotną statystycznie tendencję rosnącą np. w przypadku danych pochodzących z Rzeszowa, ale też istotną tendencję malejącą wysokości opadów atmosferycznych na Śnieżce. Tendencje zmian wysokości i intensywności maksymalnych opadów atmosferycznych badano także we Wrocławiu [6]. Stwierdzono, że w ciągu 50-lecia 1960–2009 wystąpił we Wrocławiu spadek rocznej wysokości opadów atmosferycznych, przy jednoczesnym wzroście ich intensywności.

Materiał i metody badawcze

Materiałem badawczym wykorzystanym w pracy były archiwalne pluwiogramy z czterech stacji pomiarowych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej zlokalizowanych w zlewni Górnej Odry. Analizie poddano dane pochodzące z lat 1954–2013 ($n=60$) ze stacji meteorologicznych IMGW w Kłodzku, Legnicy, Opolu oraz Wrocławiu-Strachowicach, położonych na rzędnych terenu odpowiednio 356 m n.p.m., 122 m n.p.m., 165 m n.p.m. i 122 m n.p.m. Analizowano szeregi czasowe danych pluwiograficznych w odniesieniu do rocznych oraz sezonowych (w półroczu ciepłym, tj. od 1 V do 30 X) sum wysokości opadów atmosferycznych (ciekłych i stałych).

Dr inż. B. Kaźmierczak, prof. dr hab. inż. A. Kotowski: Politechnika Wrocławska, Wydział Inżynierii Środowiska, Zakład Usuwania Ścieków, wybrzeże Stanisława Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
bartosz.kaźmierczak@pwr.edu.pl, andrzej.kotowski@pwr.edu.pl

Mgr inż. M. Wdowikowski: Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział we Wrocławiu, ul. Parkowa 30, 51-616 Wrocław, marcin.wdowikowski@imgw.pl

Tabela 1. Charakterystyczne wysokości opadów atmosferycznych w poszczególnych stacjach pomiarowych w latach 1954–2013
Table 1. Characteristic precipitation amounts from individual stations in the period 1954–2013

Stacja IMGW	Roczna wysokość opadów atmosferycznych, mm				Sezonowa (V–X) wysokość opadów atmosferycznych, mm			
	minimum	średnia	mediana	maksimum	minimum	średnia	mediana	maksimum
Kłodzko	369	603	610	854	237	425	434	651
Legnica	361	547	547	795	220	372	371	582
Opole	360	616	608	868	220	403	402	594
Wrocław-Strachowice	375	567	564	776	209	378	381	541

Tabela 2. Tendencje zmian rocznej wysokości opadów atmosferycznych w latach 1954–2013
Table 2. Trends in the annual precipitation amount in the period 1954–2013

Stacja IMGW	Regresja liniowa				Test Manna-Kendalla				
	R ²	b	poziom istotności		S	τ	β	poziom istotności	
Kłodzko	0,0028	-0,309	0,686	31,4%	-103	-0,058	-0,515	0,515	48,5%
Legnica	0,0360	-1,081	0,146	85,4%	-230	-0,130	-1,284	0,144	85,6%
Opole	0,0192	-0,869	0,292	70,8%	-217	-0,123	-1,272	0,168	83,2%
Wrocław-Strachowice	0,0149	-0,677	0,353	64,7%	-145	-0,082	-0,710	0,358	64,2%

Tabela 3. Tendencje zmian sezonowej (V–X) wysokości opadów atmosferycznych w latach 1954–2013
Table 3. Trends in the seasonal (May–October) precipitation amount in the period 1954–2013

Stacja IMGW	Regresja liniowa				Test Manna-Kendalla				
	R ²	b	poziom istotności		S	τ	β	poziom istotności	
Kłodzko	0,0035	-0,302	0,652	34,8%	-89	-0,050	-0,408	0,575	42,5%
Legnica	0,0095	-0,501	0,459	54,1%	-96	-0,054	-0,531	0,545	45,5%
Opole	0,0086	-0,485	0,481	51,9%	-117	-0,066	-0,519	0,459	54,1%
Wrocław-Strachowice	0,0127	-0,555	0,391	60,9%	-126	-0,071	-0,545	0,425	57,5%

Do wykrycia i zbadania istotności tendencji zmian w szeregach czasowych deszczów zastosowano regresję liniową oraz test Manna-Kendalla [3, 24]. Test Manna-Kendalla analizuje znak różnicy między kolejno zmierzonymi wartościami. Nowo zmierzona wartość porównywana jest do wszystkich poprzednio zmierzonych wartości, co daje łącznie $n(n-1)/2$ możliwych par danych (n – liczba obserwacji). Statystyka (S) testu Manna-Kendalla obliczana jest z zależności:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (1)$$

Podstawiając θ za $x_j - x_i$ otrzymuje się:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{przy } \theta > 0 \\ 0 & \text{przy } \theta = 0 \\ -1 & \text{przy } \theta < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Statystyka dodatnia (nowo zmierzone wartości są większe od poprzednio zmierzonych) świadczy o tendencji wzrostowej wartości mierzonej (x). W przeciwnym wypadku tendencja jest malejąca. Nieparametrycznym współczynnikiem korelacji rangowej w teście Manna-Kendalla jest statystyka (τ) określona zależnością:

$$\tau = \frac{S}{n(n-1)/2} \quad (3)$$

która przyjmuje wartości z zakresu $[-1; 1]$. Dodatnie wartości tej statystyki świadczą o występowaniu tendencji rosnącej, natomiast ujemne wartości świadczą o tendencji malejącej. Wartości w pobliżu zera świadczą natomiast (za hipotezą) o braku występowania tendencji.

Zmiany analizowanej tendencji w czasie można opisać przy pomocy współczynnika kierunkowego (β) wyrażonego estymatorem Sena obliczonego z uwzględnieniem wszystkich $i < j$ ($i = 1, 2, \dots, n-1$ oraz $j = 2, 3, \dots, n$):

$$\beta = \text{mediana} \left(\frac{x_j - x_i}{j - i} \right) \quad (4)$$

W niniejszej pracy za zmianę istotną (malejącą lub rosnącą) przyjęto zmianę na poziomie istotności powyżej 95% ($< 0,05$) [3]. Za tendencję bliską istotności statystycznej przyjęto zmianę na poziomie $90 \div 95\%$ ($0,05 \div 0,10$). Za jedynie tendencję do zmian przyjęto poziom istotności $75 \div 90\%$ ($0,10 \div 0,25$), natomiast zmiany na poziomie istotności poniżej 75% ($> 0,25$) uznano za nieistotne i bez określonego kierunku zmian. Do wykonania obliczeń wykorzystano pakiet statystyczny R (wersja 2.15.2), który jest powszechnie stosowanym narzędziem do prowadzenia analiz statystycznych na zasadzie licencji otwartego oprogramowania.

Analiza wyników

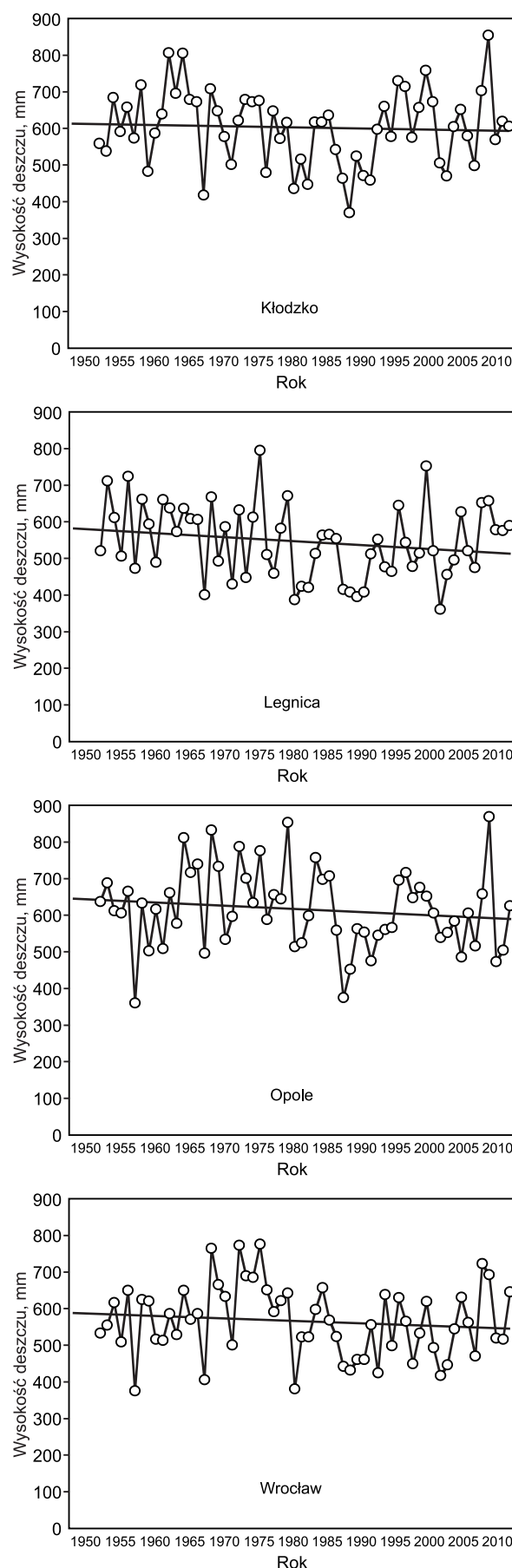
W tabeli 1 przedstawiono charakterystyczne roczne i sezonowe wysokości opadów atmosferycznych odnotowane w poszczególnych stacjach pomiarowych, natomiast w tabelach 2 i 3 podano wyniki obliczeń statystycznych dotyczących tendencji zmian wysokości opadów atmosferycznych zanotowanych w czasie 60 lat obserwacji w stacjach pomiarowych IMGW w Kłodzku, Legnicy, Opolu i Wrocławiu-Strachowicach.

W przypadku wszystkich analizowanych danych stwierdzono zmniejszanie się sumy rocznej wysokości opadów (ujemne wartości współczynników kierunkowych b i β). Na poziomie istotności 75–90% stwierdzono tendencję malejącą wysokości rocznej sumy opadów zanotowanych w stacjach pomiarowych w Legnicy i Opolu. W przypadku stacji w Kłodzku i Wrocławiu-Strachowicach poziom istotności zmian był mniejszy niż 75%, zarówno w przypadku regresji liniowej, jak i testu Manna-Kendalla. Wyniki pomiarów wysokości opadów z lat 1954–2013 w poszczególnych stacjach IMGW wraz z prostą regresji liniowej przedstawiono na rysunku 1.

Na rysunku 2 przedstawiono odchylenia wysokości opadów rocznych od ich mediany w latach 1954–2013. Przeprowadzona analiza falkowa [27] rozpatrywanych serii opadów atmosferycznych nie wykazała dominujących okresowości, które byłyby widoczne w całym analizowanym czasie 60 lat. Stwierdzone wahania miały charakter pojedynczych impulsów (o dużej mocy testu) o okresowości 3–9 lat. Stąd też na rysunku 2 zaznaczono linię przyjętej 5-letniej centrowanej średniej kroczącej, najczęściej stosowanej w analizie zmienności rocznych szeregów opadów atmosferycznych [28]. Analiza zmienności rocznej wysokości opadów pozwoliła jednak na wyodrębnienie pewnych okresów, charakteryzujących się istotną tendencją malejącą. Przykładowo, w przypadku danych pomiarowych ze stacji Wrocław-Strachowice z trzydziestolecia 1970–1999, test Manna-Kendalla wykazał tendencję malejącą opadów normalnych na bardzo wysokim poziomie istotności wynoszącym 99,9%. W przypadku pozostałych stacji poziom istotności zmian rocznych wysokości opadów atmosferycznych w tym samym przedziale czasu wynosił 65,6%, 84,6% i 90,1%, odpowiednio w przypadku danych ze stacji w Kłodzku, Legnicy i Opolu.

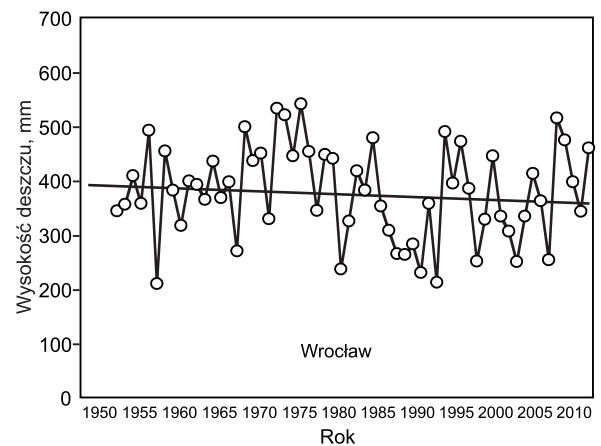
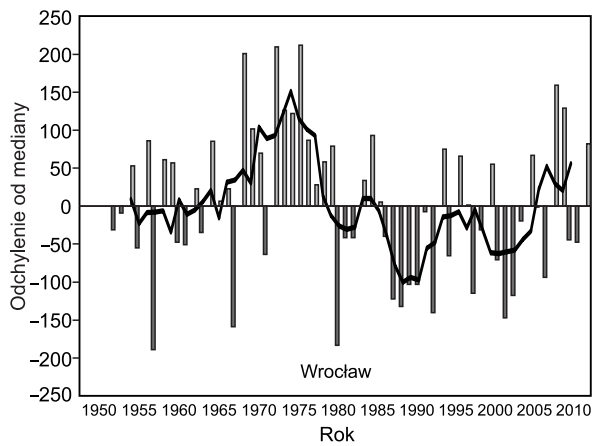
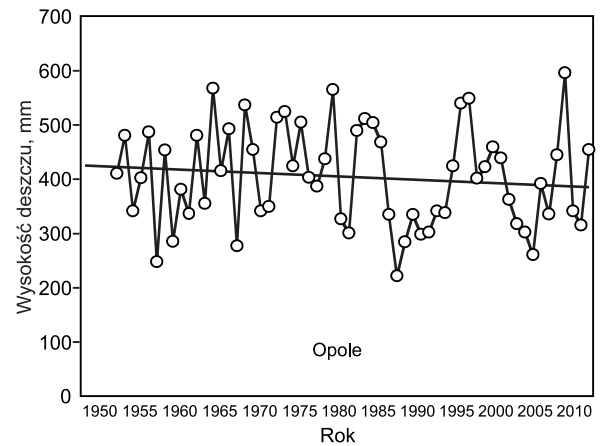
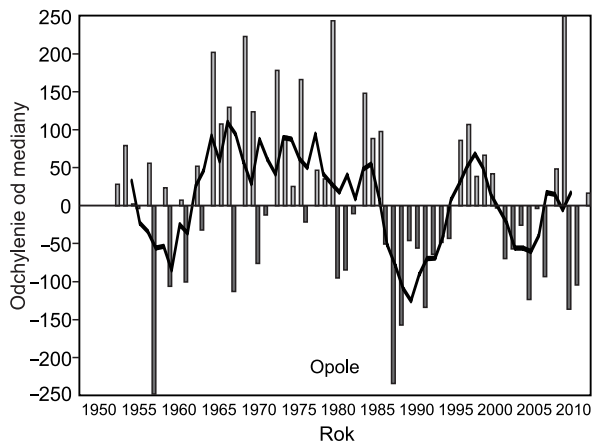
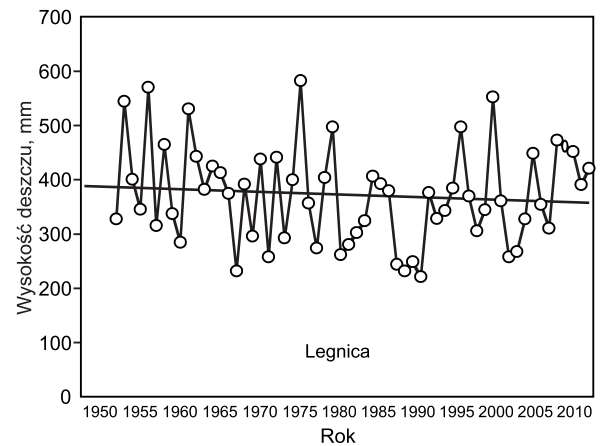
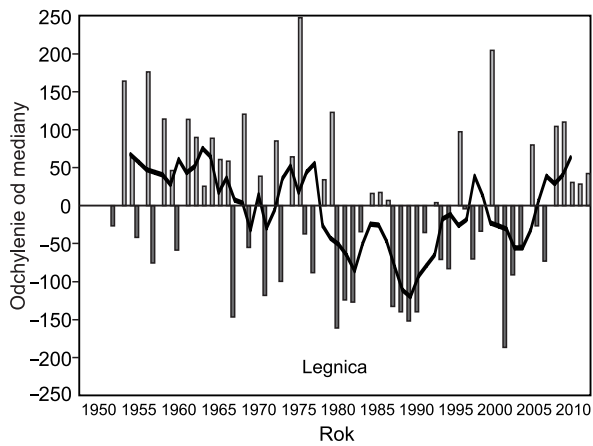
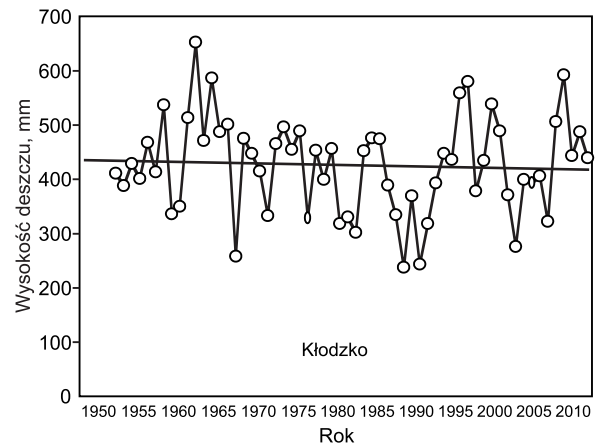
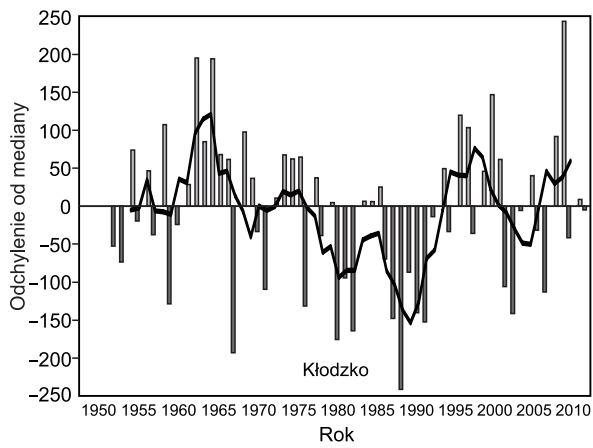
Wyniki obliczeń w przypadku sezonowych zmian wysokości opadów atmosferycznych występujących w półroczu ciepłym przedstawiono w tabeli 3 i na rysunku 3. Z danych zestawionych w tabeli 3 wynika również, że na żadnej z analizowanych stacji nie stwierdzono istotnych statystycznie tendencji zmian wysokości opadów atmosferycznych w półroczu ciepłym. Należy jednak podkreślić, że podobnie jak w przypadku opadów rocznych, współczynniki b i β przyjmowały wartości ujemne w przypadku wszystkich stacji pomiarowych.

Na rysunku 4 przedstawiono odchylenia wysokości sezonowych opadów atmosferycznych od ich mediany oraz 5-letnią centrowaną średnią krocząca ich wartości w latach 1954–2013. Zmienność sezonowych wysokości opadów atmosferycznych była zbliżona do zmienności rocznej sumy opadów. W obu przypadkach można było wyróżnić krótsze okresy z wyraźnymi tendencjami, zarówno malejącymi jak i rosnącymi. W przypadku najwyższej położonej stacji meteorologicznej (Kłodzko) stwierdzono najmniej istotne tendencje zmian, w porównaniu ze stacjami położonymi niżej (tab. 2 i 3).



Rys. 1. Roczna wysokość opadów atmosferycznych w latach 1954–2013

Fig. 1. Annual precipitation amount in the period 1954–2013

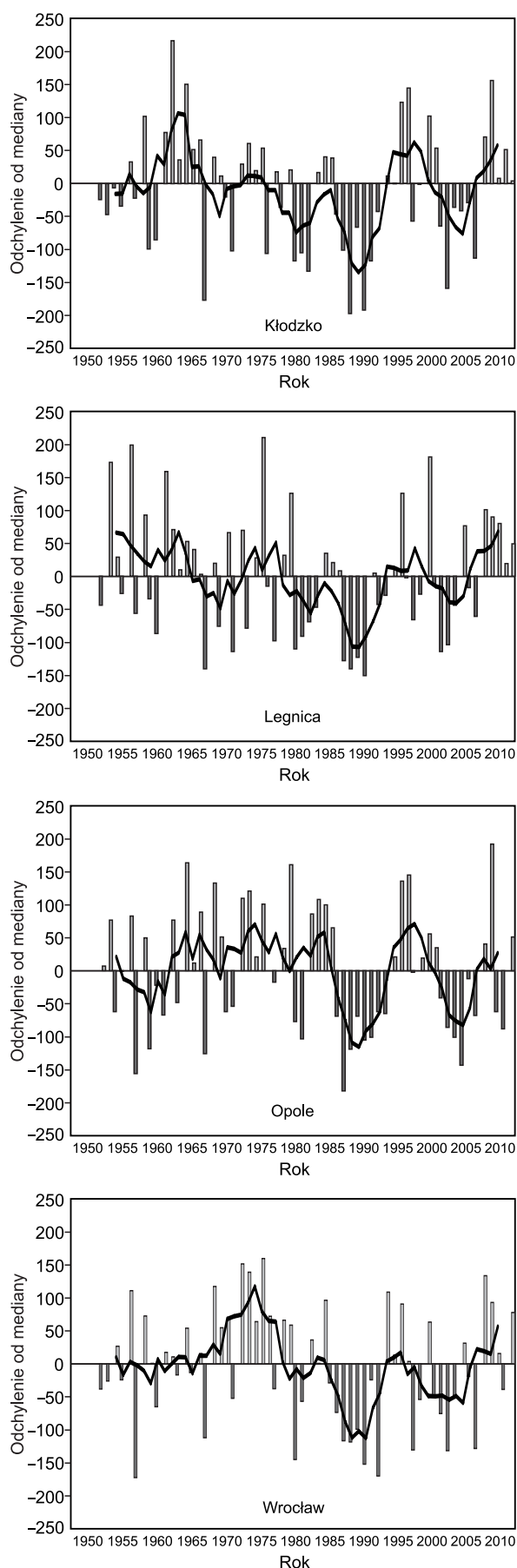


Rys. 2. Odchylenia rocznej wysokości opadów atmosferycznych od ich mediany w latach 1954–2013

Fig. 2. Deviation of annual precipitation amount from the median in the period 1954–2013

Rys. 3. Sezonowa (V–X) wysokość opadów atmosferycznych w latach 1954–2013

Fig. 3. Seasonal (May–October) precipitation amount in the period 1954–2013



Rys. 4. Odchylenia sezonowej (V–X) wysokości opadów atmosferycznych od ich mediany w latach 1954–2013

Fig. 4. Deviation of seasonal (May–October) precipitation amount from the median in the period 1954–2013

Podsumowanie

W pracy rozpoznano tendencje zmian wysokości opadów atmosferycznych pochodzących z czterech stacji pomiarowych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego, zlokalizowanych w dorzeczu Górnej Odry (Kłodzko, Legnica, Opole oraz Wrocław-Strachowice). Analizie poddano szeregi czasowe danych pluwiograficznych z ostatnich 60 lat (1954–2013), odnośnie rocznych oraz sezonowych (V–X) sum wysokości opadów atmosferycznych. Do badań statystycznych wykorzystano regresję liniową oraz nieparametryczny test Manna-Kendalla.

Analiza danych pomiarowych z czterech stacji zlokalizowanych w dorzeczu Górnej Odry wykazała zmniejszenie się rocznej wysokości opadów atmosferycznych w latach 1954–2013. Stwierdzono tendencję do stopniowego zmniejszania się wysokości opadów atmosferycznych w Legnicy na poziomie istotności 85% (regresja liniowa i test Manna-Kendalla), natomiast w przypadku Opola na poziomie istotności powyżej 80% (test Manna-Kendalla). W przypadku pozostałych stacji (Kłodzko i Wrocław-Strachowice) poziom istotności zmian był mniejszy niż 75%, zarówno w przypadku regresji liniowej, jak i testu Manna-Kendalla. W świetle przyjętych w pracy kryteriów zmiany te należy uznać za mało istotne statystycznie. Należy jednak podkreślić, że wyliczone w obu testach współczynniki kierunkowe prostych regresji w przypadku danych ze wszystkich stacji pomiarowych miały wartości ujemne.

W analizowanym przedziale 60 lat (1954–2013) wyróżniono podokresy charakteryzujące się bardzo istotną statystycznie malejącą zmianą rocznej wysokości opadów atmosferycznych (w przypadku danych ze stacji Wrocław-Strachowice z trzydziestolecia 1970–1999 test Manna-Kendalla wykazał trend malejący na poziomie istotności 99,9%).

W przypadku wysokości opadów w półroczu ciepłym (V–X) wykazano również ujemne wartości współczynników kierunkowych prostych regresji. Jednakże dane z żadnej z analizowanych stacji nie charakteryzowały się istotną statystycznie tendencją zmian wysokości opadów sezonowych – poziom istotności był mniejszy niż 75% zarówno w przypadku regresji liniowej, jak i testu Manna-Kendalla.

Wyniki otrzymanych ustaleń są zbliżone z wynikami badań w wielu regionach Europy [16, 18, 22], w tym również w Polsce [3, 6]. Badania w tym zakresie (prowadzone na Politechnice Wrocławskiej przy współpracy z IMGW–PIB) powinny być kontynuowane, a ich wyniki wykorzystane między innymi do wymiarowania systemów odwadniania terenów zurbanizowanych [10, 12, 25, 26].

LITERATURA

1. IPCC: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge 2007.
2. M. MIĘTUS: Zmienność temperatury i opadów w rejonie polskiego wybrzeża Morza Bałtyckiego i jej spodziewany przebieg do roku 2030. Materiały badawcze Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Seria Meteorologia nr 26, Warszawa 1996.
3. I. PIŃSKWAR: Projekcje zmian w ekstremach opadowych w Polsce. Komitet Gospodarki Wodnej PAN, zeszyt nr 32, Warszawa 2010.

4. G. LANDERINK, E.V. MEIJGAARD: Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. *Nature Geoscience* 2008, No. 1, pp. 511–514.
5. A. KOTOWSKI, B. KAŻMIERCZAK, A. DANCEWICZ: Modelowanie opadów do wymiarowania kanalizacji. Komitet Inżynierii Łądowej i Wodnej PAN, Studia z Zakresu Inżynierii nr 68, Warszawa 2010.
6. B. KAŻMIERCZAK, A. KOTOWSKI: Trendy zmian wysokości i intensywności opadów maksymalnych do modelowania kanalizacji we Wrocławiu. *Gaz, Woda i Technika Sanitarna* 2013, nr 5, ss. 193–196.
7. A. KOTOWSKI, B. KAŻMIERCZAK: Probabilistic models of maximum precipitation for designing sewerage. *Journal of Hydrometeorology* 2013, Vol. 14, No. 6, pp. 1958–1965.
8. M. SIEKMANN, J. PINNEKAMP: Indicator based strategy to adapt urban drainage systems in regard to the consequences caused by climate change. Proc. of 12th International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre (Brazil) 2011.
9. P. WILLEMS: Revision of urban drainage design rules based on extrapolation of design rainfall statistics. Proc. of 12th International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre (Brazil) 2011.
10. B. KAŻMIERCZAK, A. KOTOWSKI: DDF rainfall model for dimensioning and modelling of Wrocław drainage systems. *Environment Protection Engineering* 2012, Vol. 38, No. 4, pp. 127–138.
11. B. KAŻMIERCZAK, A. KOTOWSKI: Weryfikacja przepustowości kanalizacji deszczowej w modelowaniu hydrodynamicznym. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2012.
12. A. KOTOWSKI: Podstawy bezpiecznego wymiarowania odwodnień terenów. Wydawnictwo Seidel-Przywecki, Warszawa 2011.
13. D. SŁYŚ, A. STEC: Hydrodynamic modelling of the combined sewage system for the city of Przemyśl. *Environment Protection Engineering* 2012, Vol. 38, No. 4, pp. 99–112.
14. M. NEW, M. TODD, M. HULME, P. JONES: Precipitation measurements and trends in the twentieth century. *International Journal of Climatology* 2001, Vol. 21, No. 15, pp. 1899–1922.
15. E.J. FØRLAND, I. HANSEN-BAUER: Increased precipitation in the Norwegian Arctic: True or false? *Climatic Change* 2000, Vol. 46, No. 4, pp. 485–509.
16. S. HÄNSEL, S. PETZOLD, J. MATSCHULLAT: Precipitation trend analysis for central Eastern Germany 1851–2006. *Bioclimatology and Natural Hazards* 2009, Vol. 14, pp. 29–38.
17. L. BUFFONI, M. MAUGERI, T. NANNI: Precipitation in Italy from 1833 to 1996. *Theoretical and Applied Climatology* 1999, Vol. 63, pp. 33–40.
18. A. LONGOBARDI, P. VILLANI: Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area. *International Journal of Climatology* 2009, Vol. 30, No. 10, pp. 1538–1546.
19. I. LIVADA, D.N. ASIMAKOPOULOS: Individual seasonality index of rainfall regimes in Greece. *Climate Research* 2005, Vol. 28, pp. 155–161.
20. J. PINOL, J. TERRADAS, F. LLORET: Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain. *Climatic Change* 1998, Vol. 38, pp. 345–357.
21. S. RAMBAL, C. HOFF: Mediterranean ecosystems and fire: the threats of global change. In: J.M. MORENO [Ed.]: *Large Forest Fires*. Backhuys Publishers, Leiden 1998.
22. M. De LUÍS, J. RAVENTÓS, J.C. GONZÁLES-HIDALGO, J.R. SÁNCHEZ, J. CORTINA: Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (East Spain). *International Journal of Climatology* 2000, Vol. 20, pp. 1451–1469.
23. P. CROCHET: A study of regional precipitation trends in Iceland using a high-quality gauge network and ERA-4 0. *Journal of Climate* 2007, Vol. 20, pp. 4659–4677.
24. K.H. HAMED: Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology* 2008, Vol. 349, pp. 350–363.
25. P. LICZJAR: Wymiarowanie zbiorników retencyjnych ścieków deszczowych na podstawie syntetycznych szeregów czasowych opadów deszczu (Stormwater reservoir dimensioning based on synthetic rainfall time series). *Ochrona Środowiska* 2013, vol. 35, nr 2, ss. 27–32.
26. B. KAŻMIERCZAK, A. KOTOWSKI: The influence of precipitation intensity growth on the urban drainage systems designing. *Theoretical and Applied Climatology* (DOI: 10.1007/s00704-013-1067-x).
27. K. FORTUNIAK: Wybrane metody poszukiwania okresowej zmienności w szeregach klimatycznych. W: A. BOKWA, Z. USTRNUL [red.]: *Zastosowanie wybranych metod statystycznych w klimatologii*. Uniwersytet Jagielloński, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Kraków 2004.
28. D.M. WAGNER, J.D. KRIEGER, K.R. MERRIMAN: Trends in precipitation, streamflow, reservoir pool elevations, and reservoir releases in Arkansas and selected sites in Louisiana, Missouri, and Oklahoma, 1951–2011. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2013–5240, Reston (Virginia) 2014.

Kaźmierczak, B., Kotowski, A., Wdowikowski, M. Trend Analysis of Annual and Seasonal Precipitation Amounts in the Upper Odra Catchment. *Ochrona Środowiska* 2014, Vol. 36, No. 3, pp. 49–54.

Abstract: Time series of the archival pluviographic data from 4 meteorological stations of the Institute of Meteorology and Water Management (IMGW, located at altitudes of 122 to 356 m above sea level) were analyzed. The analysis covered the period of last 60 years (1954–2013) including both annual and seasonal (May–October) rainfall data. In order to assess trends in precipitation amount,

both linear regression and Mann-Kendall test were applied to statistical studies. For all the analyzed measurement stations a decrease in annual precipitation amount in the period 1954–2013 was demonstrated, for Legnica and Opole at a significance level above 75%. Moreover, a decrease in the seasonal precipitation amount was noticed, however at a significance level of less than 75%. Further research is needed in order to confirm the expected changes in rainfall amount and intensity in the future.

Keywords: Precipitation amount, pluviogram, meteorological data, statistical analysis.